



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI



EVALUACIÓN CLIMÁTICA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC Y ESTABLECIMIENTO DE UMBRALES

DIRECCIÓN REGIONAL LIMA

**Por:
Diego Rodríguez Zimmermann**

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ
– SENAMHI –**

LIMA, DICIEMBRE 2013

Evaluación Climática de la precipitación en la Cuenca del Río Rímac y establecimiento de Umbrales

Estudio técnico desarrollado en el marco del Programa Presupuestal de Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por desastres – PREVAED

Por:

Diego RODRIGUEZ-ZIMMERMANN

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

**Dirección Regional de SENAMHI-Lima
Dirección General de Meteorología
SENAMHI**

Diciembre 2013

Lima, Perú

Estudio Técnico

Evaluación Climática de la precipitación en la Cuenca del Río Rímac y establecimiento de Umbrales

CONTENIDO

	Página
Resumen	04
I. Introducción.....	04
II. Datos y metodología.....	05
III. Resultados.....	07
IV. Conclusiones.....	12
V. Recomendaciones.....	13
VI. Referencias.....	14

RESUMEN

En el presente trabajo se dividió la cuenca del río Rímac en cinco regiones homogéneas en precipitación a nivel anual, delimitadas por el método del Vector Regional (MVR), tomando en cuenta los datos disponibles entre 1981 al 2012 de 17 estaciones en la cuenca y sus alrededores. En estas cinco regiones se tomó las estaciones con mayor cantidad de datos, con lo que se redujo la cantidad a nueve, luego se calculó cinco índices climáticos (CWD, CDD, R95p, R99p y PRCPTOT) y siete percentiles (p10, p25, p50, p75, p90, p95, p99) para cada estación; los resultados de las estaciones pertenecientes a una misma región se promediaron para obtener los valores medios para la región. Se caracterizó cada región según los índices climáticos de precipitación, y además se estimaron los umbrales (percentiles) correspondientes. Los resultados muestran que de las cinco regiones tres pertenecen a la cuenca alta (húmeda) con umbrales altos de precipitación y lluvia frecuente en la época húmeda, una región semiseca perteneciente a la cuenca media donde la precipitación es menor pero donde sí se presentan valores altos de precipitación con cierta frecuencia y una región seca correspondiente a la cuenca baja donde la precipitación es mucho menor y donde los eventos extremos si bien se han dado históricamente son extremadamente raros.

Palabras Clave: Umbrales, Cuenca Rímac, Vector Regional, Estadísticos, Perú

I. Introducción

Actualmente se dispone de pronósticos cualitativos que no necesariamente satisfacen las necesidades de los usuarios, quienes requieren, en la mayoría de los casos, valores críticos de precipitación que generen impactos en un determinado lugar. La oferta de información relevante para la toma de decisiones, pasa por la determinación de la magnitud real de un evento extremo en función de la variabilidad del clima medio de un determinado lugar, por ejemplo, 20 mm de precipitación registrada en un día podría categorizarse como normal en la selva norte del Perú pero ser a la vez un evento extremo si se diera en la costa central; es más, en áreas de orografía muy accidentada como la región andina del Perú, lugares muy cercanos entre sí, pueden caracterizarse por comportamientos diferentes a nivel de meso y micro escala, incluso, su interacción con la circulación atmosférica puede ser diferenciada, lo que puede dar como resultado regímenes de precipitación variados en áreas relativamente cercanas, por lo tanto la definición de lo que es un evento extremo puede no ser la más representativa (Anagnostopoulou & Tolika, 2011); con el mismo criterio, en una misma área puede variar aquello que se considere una precipitación normal o fuerte.

Para poder definir los umbrales que nos permitan distinguir entre un evento normal u otro de mayor intensidad debemos en primer lugar analizar qué se considera para la zona en estudio un evento de precipitación extrema y qué son lluvias normales. Un evento de precipitación extrema

es aquel que se considere raro respecto a lo normal (Lluvias normales se define como el valor aproximado al valor medio de lluvias de un periodo básico de 30 años, considerando su variabilidad) en un lugar en particular y en un momento determinado (IPCC, 2007); un evento extremo de precipitación debe ser más inusual que el percentil 10 o el 90 de la función de densidad de probabilidad observada para considerarse raro (Beniston et al. 2007).

El presente estudio tiene como objetivo establecer rangos específicos para diferentes intensidades de precipitación en las cinco zonas identificadas en la cuenca del río Rímac, así como establecer los umbrales respectivos para lo que se considere como un evento extremo en cada zona. Este estudio se realiza en una de las cuencas hidrográficas más importantes del país, al encontrarse dentro de ella la Gran Capital, desempeñando un rol vital como fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano de aproximadamente 10 millones de habitantes, y actividades agrícolas y energéticas, existiendo en su ámbito 5 centrales hidroeléctricas importantes (Chavarri, 2009). La cuenca del río Rímac se distingue además, por tener una cuenca baja seca y una cuenca alta húmeda, por lo que para poder aplicar los criterios mencionados (Anagnostopoulou & Tolika, 2011), (Beniston et al. 2007) se zonifico la cuenca según el régimen de precipitación.

Es en este contexto que, en el marco del PREVAE, el SENAMHI contribuye con la caracterización del peligro o amenaza asociados a eventos de origen hidrometeorológicos y que pudieran generar escenarios de riesgo, así como su clasificación para tener disponible un pronóstico más preciso y comprensible para las autoridades y la población.

Para el logro del producto: Zonas Geográficas Monitoreadas y Alertadas ante Peligros hidrometeorológicos, se ha previsto brindar servicios de monitoreo, pronósticos y avisos hidrometeorológicos en forma permanente y oportuna a las autoridades locales a través de sus centros de operaciones de emergencias dentro del ámbito de las cuencas de Chicama, Rímac y Provincias de Puno y San Román. En este marco, se realiza el estudio de caracterización de la precipitación y determinación de umbrales a cargo del SENAMHI. Estos servicios serán entregados vía correo electrónico, pagina Web del SENAMHI y/o fax por parte de las Direcciones Regionales del SENAMHI (Cajamarca, Lima y Puno) para lo cual se realizarán talleres sobre el uso de la información hidrometeorológica a las autoridades, medios de comunicación y público en general.

II. Datos y metodología

Datos desde Enero de 1981 a Diciembre del 2012 fueron analizados para 17 estaciones (**Tabla 1**) a lo largo de la cuenca del río Rímac y sus alrededores (Figura 1) para diferenciar la cuenca según el régimen de precipitación mediante el método del Vector Regional (Vauchell, 2005), obteniéndose finalmente 5 áreas homogéneas; resultados obtenidos con el software Hydraccess del IRD.

Posteriormente se analizó las estaciones con datos más completos dentro de la cuenca (Se realizó una excepción con la estación de Campo de Marte (2000-2012) debido a que era la única estación disponible en la parte baja de la cuenca), seleccionándose 9 estaciones (**Figura 2**) con las que se definió los umbrales de precipitación. Los datos corresponden a la Red Observacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. La cantidad de datos faltantes en promedio es alrededor de 3 % en cada estación. Para poder comprender mejor el comportamiento de las lluvias en estas estaciones se calcularon un total de 5 índices climáticos además de 7

percentiles (**Tabla 2**) utilizando los datos diarios de precipitación de cada una de ellas, con el fin de establecer los umbrales de precipitación para cada una de las 5 regiones (**Figura 1**).

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en las diferentes etapas del estudio:

Regionalización						Umbrales		
Nombre	Latitud	Longitud	Nombre	Latitud	Longitud	Nombre	Latitud	Longitud
Campo de Marte	-12.07	77.04	Von Humboldt	-12.05	-76.92	Campo de Marte	-12.07	77.04
Chosica	-11.93	-76.69	Arahuay	-11.62	-76.7	Chosica	-11.93	-76.69
Santa Eulalia	-11.92	-76.67	Lachaqui	-11.55	-76.62	Santa Eulalia	-11.92	-76.67
Canchacalla	-11.85	-76.53	Huaros	-11.4	-76.57	Canchacalla	-11.85	-76.53
Autisha	-11.74	-76.60	Río Blanco	-11.73	-76.26	Autisha	-11.74	-76.60
Matucana	-11.84	-76.38	Milloc	-11.57	-76.35	Matucana	-11.84	-76.38
Carampoma	-11.66	-76.52	Pariacancha	-11.38	-76.5	Carampoma	-11.66	-76.52
Sheque	-11.67	-76.50	Casapalca	-11.65	-76.23	Sheque	-11.67	-76.50
San José de Parac	-11.80	-76.26				San José de Parac	-11.80	-76.26

Para el análisis sólo se consideró los días en que se registró precipitación por encima de 0 mm, sin considerar los datos de traza, esto se debió a que no son valores medibles y que la gran cantidad de estos valores generaba un exceso de valores atípicos.

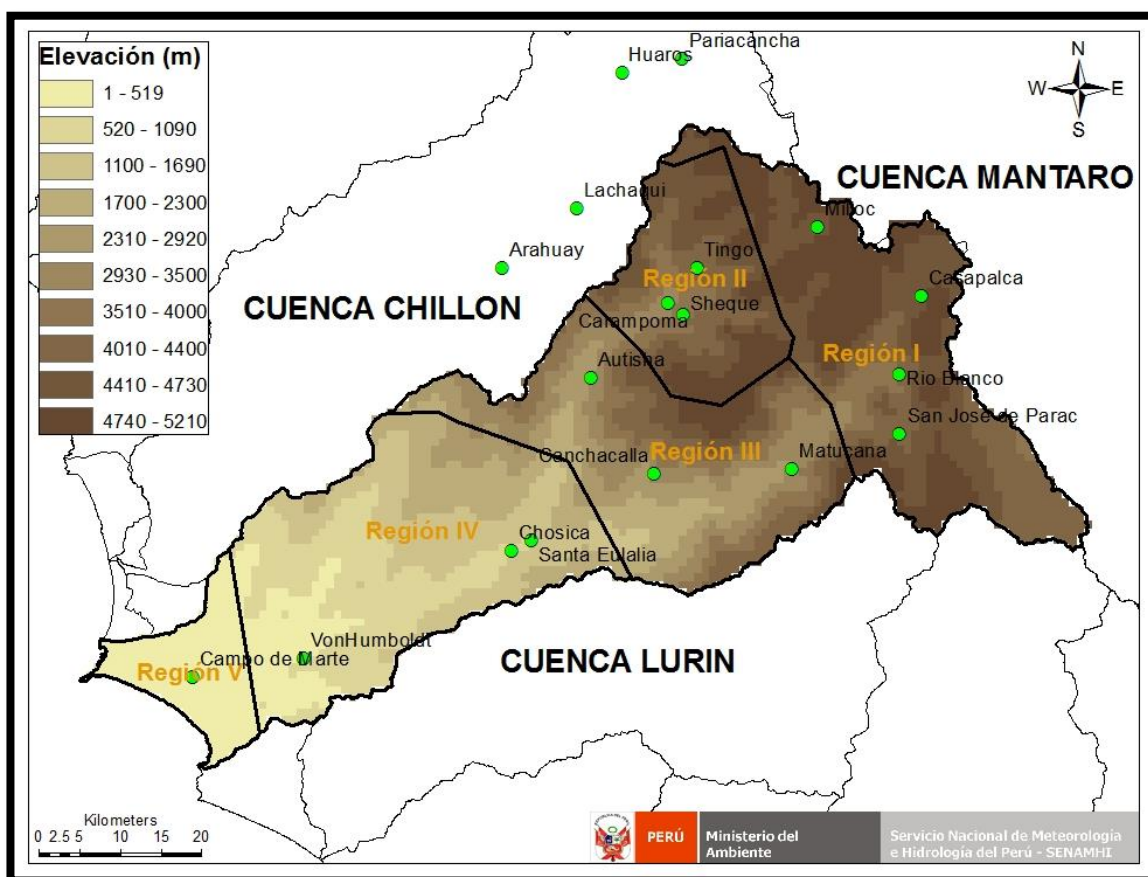


Figura 1. Mapa del terreno de la cuenca del río Rímac con las 17 estaciones seleccionadas indicadas por los círculos negros y con las 5 regiones identificadas mediante el MVR. Región I (San José de Parac, Río Blanco, Casapalca, Milloc), Región II (Carampoma, Sheque), Región III (Autisha, Canchacalla, Matucana), Región IV (Santa Eulalia, Chosica, Von Humboldt), Región V (Campo de Marte). **Elaborado:** Dirección Regional de Lima.

Para caracterizar el régimen de precipitación y definir lo que se considera un evento extremo en cada región (Anagnostopoulou y Tolika, 2011), y tomando en cuenta que estos se ven afectados por diferentes variaciones regionales (Ralph et al. 2010). En primer lugar se calcularon diferentes índices absolutos (CWD y el CDD), así como índices relativos (R95 y R99), definiendo en qué partes de la cuenca se puede afirmar que poseen un clima húmedo y cuáles poseen un clima predominantemente seco. Si bien los índices relativos se ajustan mejor que los absolutos para comparaciones espaciales (Klein Tank & Können, 2003), debido a que el área de estudio es significativamente reducida, estos últimos también se ajustan a los objetivos.

Para las regiones húmedas se tomó la precipitación media mensual y se dividió entre la cantidad de días lluvia (precipitación mayor o igual a 1 mm) promedio durante la época de lluvias, obteniéndose así el promedio de precipitación acumulada en un día lluvioso, este valor se tomó como referencia y se complementó con los percentiles para determinar el umbral de lluvia moderada regional, luego tomando los percentiles extremos (10, 90, 95, 99) se obtuvieron los umbrales de precipitación según el criterio de rareza (Beniston et al. 2007) para determinar que es una lluvia ligera así como, lo que se considera, para cada región, una lluvia fuerte, muy fuerte o extraordinaria. En las regiones secas y semisecas se utilizaron percentiles para la determinación de los umbrales en conjunto con los criterios de intensidad y de severidad (IPCC, 2007) debido a que la precipitación pierde regularidad y muchas veces no alcanza el milímetro en el acumulado diario. Todos los cálculos en el estudio se basaron en los datos disponibles para cada estación entre enero de 1981 hasta diciembre del 2012.

III. Resultados

a) Evaluación climática de la Cuenca.

El objetivo de este estudio es poder determinar aquellos rangos que definan cuantitativamente el umbral de lluvia (mm) que se debe sobrepasar para poder definir un evento como ligero, moderado, fuerte, muy fuerte o catalogarlo como un evento extremo, así como definir las características climáticas en cada región de la cuenca del río Rímac.

Utilizando los índices climáticos mencionados anteriormente (**Tabla 2**) se encontró que la cuenca se diferencia principalmente por una cuenca alta húmeda, formada por las regiones I, II y III halladas en el estudio, en la cual llueve frecuentemente en época lluviosa, con eventos reportados en promedio con una continuidad de 15 días, mientras que en la época seca no se reporta lluvia por un máximo de 130 días en promedio. Además, esta parte de la cuenca presenta acumulados anuales promedio de más de 600 mm en la región I, 450 mm en la región II, y 260 mm en la región III, por lo que se puede definir como una zona considerablemente húmeda.

A este sector le sigue una cuenca media semiseca, equivalente a la región IV en este estudio, en donde las precipitaciones continuas se dan por un máximo de dos días, mientras que durante el año pueden pasar en promedio casi 250 días sin reportarse lluvia (precipitación mayor o igual a 1 mm) en la región.

Por otro lado el acumulado anual promedio en esta parte de la cuenca es de 21 mm, sin embargo se tienen reportes en el extremo más alto de esta región de eventos extremos que han

sobrepasado los 30 mm en un día. Dichos eventos en cambio, no se han registrado en el extremo inferior de la cuenca media, donde la precipitación resulta más regular durante la época lluviosa del año.

Finalmente se define una cuenca baja seca, equivalente a la región V del presente estudio en la cual las precipitaciones son poco frecuentes y se dan ocasionalmente durante el año, en esta región no se tiene reporte de dos días húmedos consecutivos (precipitación mayor o igual a 1 mm), más aun, las lluvias en promedio tardan más de 280 días en repetirse y la precipitación promedio anual registrada no llega a 20 mm en los últimos 12 años (estación meteorológica: Campo de Marte).

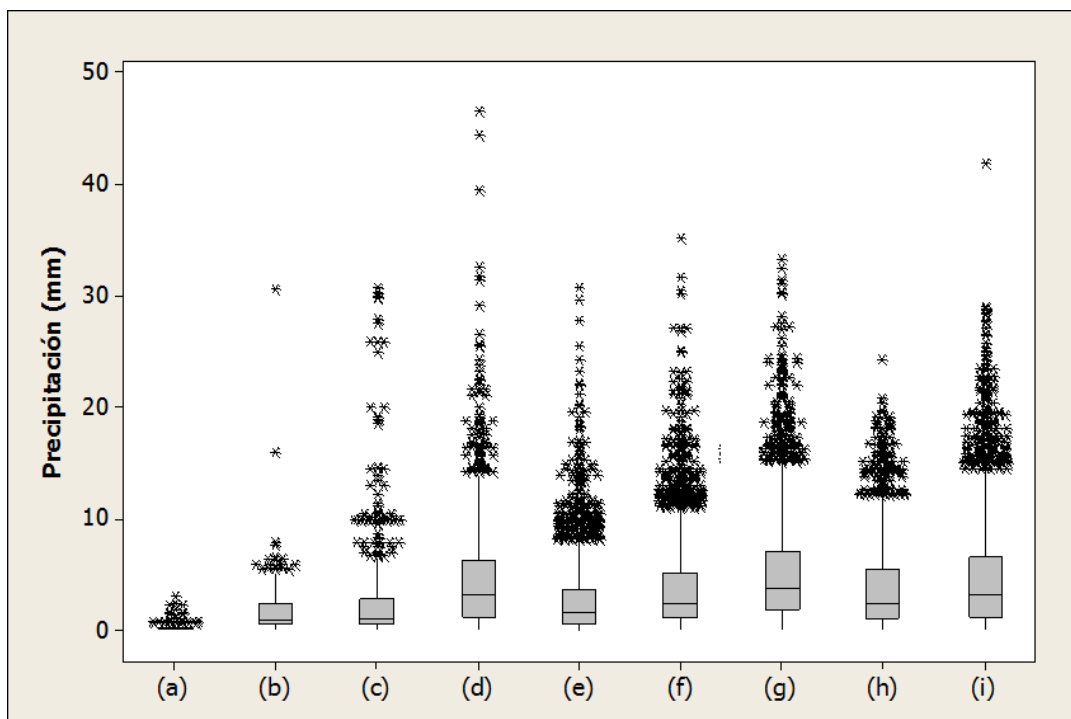


Figura 2. Gráfico de Cajas. Estaciones meteorológicas seleccionadas para la determinación de umbrales de precipitación pluvial en la cuenca del río Rímac. (a) Campo de Marte, (b) Chosica, (c) Santa Eulalia, (d) Canchacalla, (e) Autisha, (f) Matucana, (g) Carampoma, (h) Sheque, (i) San José de Parac. **Elaborado:** Dirección Regional de Lima.

Este comportamiento responde a la presencia del Anticiclón del Pacífico Sur, el cual influye en el tiempo y clima de la región occidental Sudamericana, y en este caso de la vertiente occidental del centro y sur de los Andes del Perú. Este sistema, al ser un sistema de alta presión genera subsidencia (descenso de aire), el cual inhibe la convección en la parte baja de la cuenca, por ello normalmente las precipitaciones convectivas en la cuenca alta pueden presentarse con mayor frecuencia cuando este sistema se encuentra debilitado; a esto también hay que agregar que estacionalmente se concentra un importante conglomerado de masas nubosas con un moderado u alto potencial de agua precipitable en la vertiente oriental de los Andes el cual es transportado por los vientos del Este en altura hacia la vertiente occidental (“trasvases” de humedad), y que a menudo se suma a la humedad del aire en esta vertiente para ocasionar precipitación de mayor consideración en la cuenca alta y media de la vertiente occidental. Estos “trasvases” inclusive pueden favorecer la ocurrencia de lluvias en la cuenca baja.

b) Evolución de precipitación extrema e índices climáticos

La frecuencia e intensidad de precipitaciones muy fuertes en la cuenca del río Rímac se ha mantenido en las últimas décadas (**Figura 3.a**) a lo largo de toda la cuenca alta; más aún, la precipitación total acumulada (**Figura 4**) tiene una tendencia neutra a positiva en los últimos 30 años alrededor de toda la cuenca, tendiendo a incrementarse más en la cuenca alta y a permanecer estable en la cuenca media y baja. Sin embargo, si tomamos en cuenta para el mismo periodo los eventos de precipitación extraordinaria (**Figura 3.b**) se observa cómo es que en las últimas décadas los acumulados anuales de dichos eventos han sido menores a los de la década de 1990-2000, por lo que podemos deducir que en los últimos años la cantidad de eventos extremos, y la intensidad de los mismos, ha disminuido en promedio tanto en la cuenca alta como en la cuenca media.

Tabla 2. Definición de los Índices climáticos de precipitación utilizados en este estudio. **Elaborado:** Dirección Regional de Lima.

ID	Nombre Indicador	Descripción	Unidad
CDD	Días consecutivos secos	Número máximo de días consecutivos con $pp < 1$ mm	Días
CWD	Días consecutivos húmedos	Número máximo de días consecutivos con $pp \geq 1$ mm	Días
R95p	Días muy húmedos	PRCPTOT cuando la precipitación $> p95$	mm
R99p	Días extremadamente húmedos	PRCPTOT cuando la precipitación $> p99$	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual de días húmedos	PRCPTOT en días húmedos ($pp \geq 1$ mm)	mm
p10	Percentil 10	Precipitación diaria cuando $pp \geq p10$	mm
p25	Percentil 25	Precipitación diaria cuando $pp \geq p25$	mm
p50	Percentil 50	Precipitación diaria cuando $pp \geq p50$	mm
p75	Percentil 75	Precipitación diaria cuando $pp \geq p75$	mm
p90	Percentil 90	Precipitación diaria cuando $pp \geq p90$	mm
p95	Percentil 95	Precipitación diaria cuando $pp \geq p95$	mm
p99	Percentil 99	Precipitación diaria cuando $pp \geq p99$	mm

c) Umbrales de precipitación

Los umbrales obtenidos en el presente estudio (**Tabla 3**) van desde rangos en los cuales la precipitación puede considerarse ligera hasta los que corresponden a eventos extremos para cada región, en la región V la diferencia entre los umbrales es muy sutil, debido a que esta región se caracteriza por ser seca, donde en la mayoría de los casos la precipitación acumulada no llega a 1 mm.

Sin embargo existen casos que si bien son extremadamente raros, han ocurrido en esta región, definiéndose el rango para precipitación muy fuerte cuando sobrepasa los 2,4 mm y precipitación extrema cuando sobrepasa los 3,5 mm (Sólo se ha reportado un caso en que la precipitación excedió este umbral, y en aquella ocasión sobrepasó los 17 mm según los registros del SENAMHI).

Tabla 3. Umbrales de precipitación acumulada diaria en mm hallados en el presente estudio.

Región	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Extraordinario
Región I	3,3≤	3,4-10,5	10,6-13,2	13,3-19,6	≥19,7
Región II	3,1≤	3,2-10,0	10,1-12,5	12,6-18,8	≥18,9
Región III	2,4≤	2,5-8,3	8,4-11,3	11,4-18,9	≥19,0
Región IV	1,0≤	1,1-5,0	5,1-7,8	7,9-17,6	≥17,7
Región V	0,2≤	0,3-0,6	0,7-2,3	2,4-3,5	≥3,6

En la región I, tomando en cuenta que la precipitación promedio en un día con lluvia es de 4,6 mm en la época húmeda, se define una precipitación ligera a aquella que no sobrepase el umbral de 3,3 mm en el acumulado diario, el cual corresponde al percentil 50; el umbral de precipitación moderada es de 10,5 mm, y corresponde al percentil 90; el umbral de fuerte y muy fuerte, 13,2 mm y 19,6 mm, corresponden a los percentiles 95 y 99 respectivamente, finalmente se denomina precipitación extraordinaria, es decir, un evento extremo, si es que la precipitación alcanza 19,7 mm o más en el acumulado diario, considerando que estos eventos representan menos del 1 % de los días con lluvia en esta región durante el periodo de estudio.

En la región II, precipitación promedio de 4,7 mm, se obtuvieron los umbrales de 3,1 mm, 10,0 mm, 12,5 mm, 18,8 mm para definir la precipitación ligera, moderada, fuerte y muy fuerte respectivamente, mientras que se considera extraordinario si alcanza 18,9 mm o más en el acumulado diario; en la región III, precipitación promedio de 5,3 mm, se tomaron los umbrales de 2,4 mm, 8,3 mm, 11,3 mm y 18,9 mm y se considera extraordinario si alcanza 19,0 mm o más en el acumulado diario, en ambas regiones se tomaron los mismos criterios que en la región I.

La región IV cumple con los mismos criterios que las tres regiones anteriores, pero tiene una precipitación más irregular, por lo que no se puede definir un acumulado promedio para los días de lluvia, en esta región se define el umbral de 1,0 mm para la precipitación ligera, 5,0 mm para la moderada, 7,8 mm para la fuerte y 17,6 mm para la muy fuerte, además se considera una precipitación extraordinaria si es que alcanza 17,7 mm o más en el acumulado diario.

En la región V, correspondiente a la sección seca de la cuenca, y donde la precipitación diaria promedio no se puede definir ya que en su gran mayoría no alcanza el milímetro en el acumulado diario, se define la precipitación ligera si no sobrepasa en umbral de 0,2 mm, moderada si no sobrepasa 0,6 mm, fuerte si no excede 2,3 mm y muy fuerte si se registra entre 2,4 mm y 3,5 mm, siendo 3,5 mm el máximo en el acumulado diario del que se tiene registro en la estación meteorológica Campo de Marte para el periodo de estudio (1981-2012); sin embargo, se tiene conocimiento de un evento extremo en la estación Cahuide (actualmente Campo de Marte), donde se registró más de 17 mm en el acumulado para un día en 1970, razón por la cual se define el umbral de precipitación extrema para valores mayores a 3,6 mm.

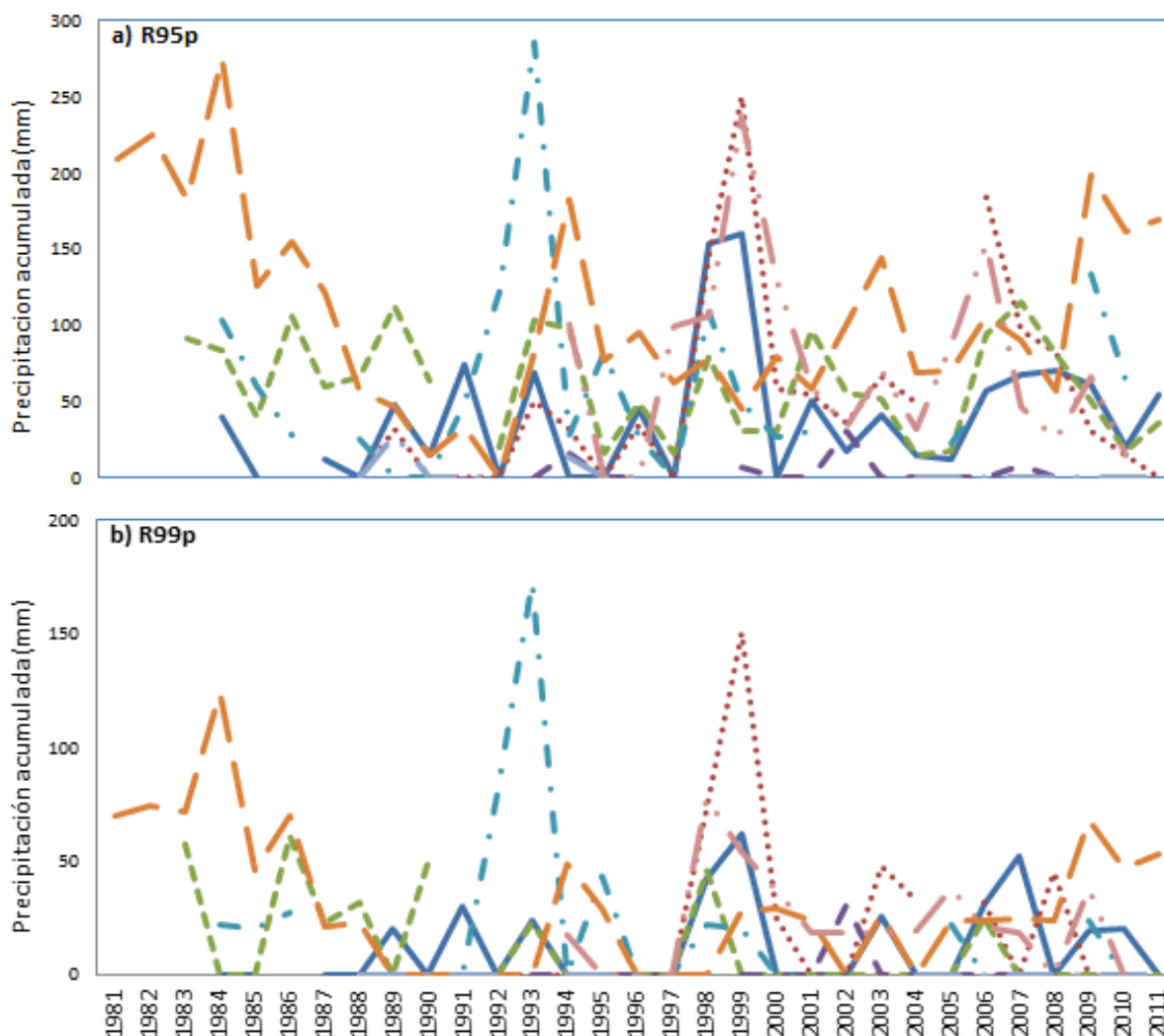


Figura 3. (a) Precipitación acumulada (mm) de los días que se supera el percentil 95 del periodo 1981-2012. (b) Precipitación acumulada (mm) de los días que se supera el percentil 99 del periodo 1981-2012. Cada línea indica una estación; Autisha (línea sólida), Canchacalla (línea punto-redondo), Carampoma (línea punto-cuadrado), Chosica (línea guion), Matucana (línea guion-punto), San José de Parac (línea guion largo), Santa Eulalia (línea guion largo-punto), Sheque (línea guion-punto-punto). **Elaborado:** Dirección Regional de Lima.

En resumen, la cuenca se caracteriza por una sección húmeda conformada por las regiones I, II, III que si bien difieren en sus regímenes de precipitación, tienen umbrales de precipitación muy

similares; además se observa una sección semiseca correspondiente a la región IV cuyos umbrales son significativamente menores a los de la sección húmeda, pero en la cual el umbral de precipitación extraordinaria se acerca considerablemente y una sección seca correspondiente a la región V con umbrales más cercanos y donde no se ha registrado la ocurrencia de un evento extremo en el periodo de datos estudiados.

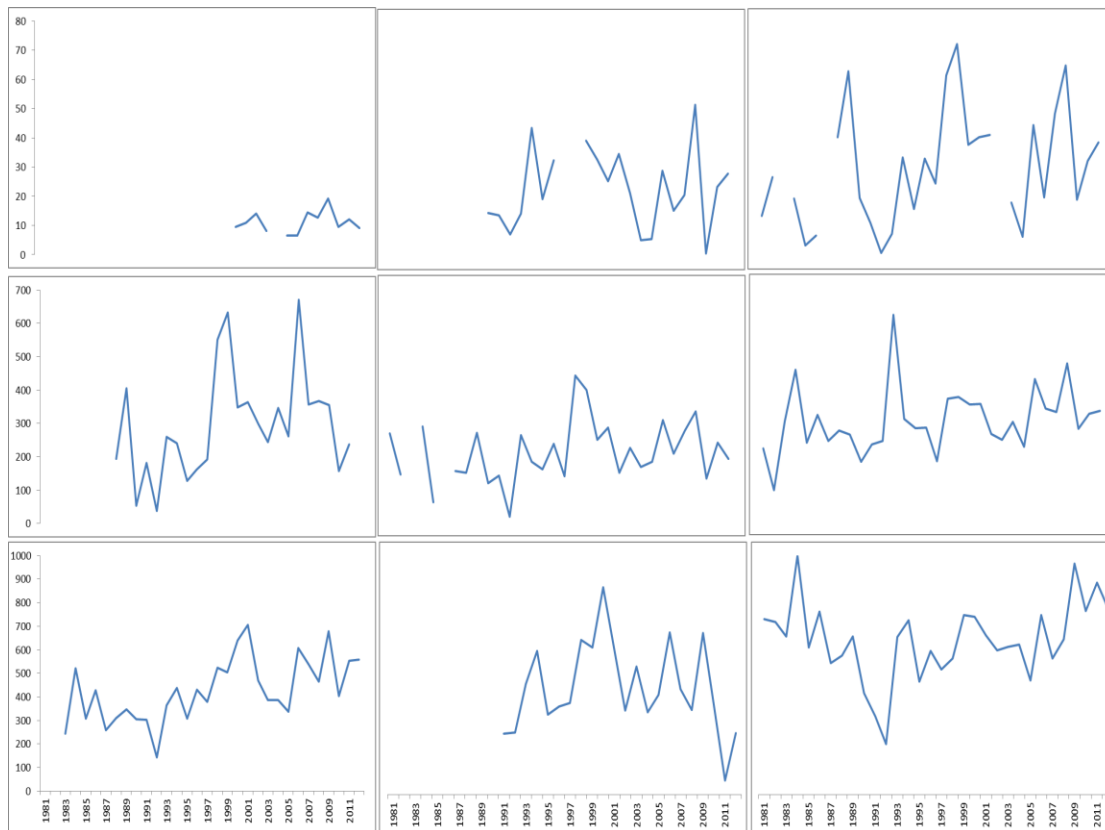


Figura 4. Precipitación total acumulada. De la esquina superior izquierda a la esquina inferior derecha: Campo de Marte, Chosica, Santa Eulalia, Canchacalla, Autisha, Matucana, Carampoma, Sheque y San José de Parac. **Elaborado:** Dirección Regional de Lima.

IV. Conclusiones

- Del presente estudio se puede concluir en primer lugar que la cuenca no presenta el mismo régimen de precipitación en toda su extensión sino que presenta cinco regiones con características propias.

Se observó que, en los diagramas de caja correspondientes a las estaciones estudiadas (**Figura 2**), existen numerosos valores atípicos, sin embargo esto se debe a que en éstos se consideraron los datos de precipitación en todo el año, y por consiguiente existen muchos datos menores al milímetro, en cambio si tomamos en cuenta la cantidad de precipitación acumulada por los eventos que superan el percentil 99 podremos concluir que para estas regiones, si bien han existido una cantidad significativa de eventos extraordinarios, estos no son tan comunes.

Las tres primeras regiones (Región I, Región II y Región III) pertenecen a una cuenca alta húmeda, donde llueve regularmente durante el periodo de lluvias y se presentan lluvias muy fuertes todos los años, y cada cierto tiempo se presenta además precipitaciones extremas que pueden afectar a una, dos o a las tres regiones dependiendo el origen del evento. Por otro lado, a pesar de las diferencias antes mencionadas, se observa que los umbrales hallados en el presente estudio son muy cercanos unos de otros entre las tres regiones.

- En segundo lugar se presenta una cuenca media semiseca, representada por la cuarta región (Región IV), donde no se puede definir una precipitación diaria promedio debido a que en este sector la precipitación es irregular, siendo discontinua durante toda la época lluviosa y con una variación significativa; en esta sección podemos observar que los umbrales de ligero a fuerte son considerablemente más bajos que en la cuenca baja, lo que se puede confirmar más aun con la precipitación total anual, sin embargo, los umbrales de precipitación muy fuerte y extraordinaria si se asemejan a los de la cuenca alta por lo que podemos concluir que estos eventos, cuando se presentan, afectan tanto a la cuenca alta como la cuenca media superior. Por otro lado, cabe mencionar que en las estaciones inferiores a esta región, no se han reportado eventos extremos.
- En tercer lugar se puede definir una cuenca baja seca, representada en el estudio por la quinta región (Región V), donde la precipitación es escasa durante todo el año, por lo que los umbrales son menores, más aun si se concluye que no es afectada en la misma medida por los mismos eventos extraordinarios que si se observan en la cuenca media y alta, sin embargo esta si se ve afectada por las consecuencias de los mismos (eventos extremos) que tienen un “período de retorno” cíclico, y que traen como consecuencia el aumento significativo del caudal en el río Rímac, el cual puede devenir en un desborde. Aunque es rara la ocurrencia de los eventos extremos de precipitación en esta región, y no se han vuelto a repetir en las últimas décadas, no quiere decir que la región vaya a estar exenta del riesgo de que vuelvan a ocurrir.
- Finalmente la frecuencia e intensidad de eventos extremos ha disminuido en comparación con la década de 1990-2000 (Figura 3.b) pero esto no ha ocurrido en el caso de las precipitaciones muy fuertes, en las cuales se observa un comportamiento muy similar a las décadas pasadas (Figura 3.a).

V. Recomendaciones.

- Aun es necesario realizar un análisis más profundo que permita conocer cuáles son los mecanismos físicos que promueven las precipitaciones extremas en la cuenca del río Rímac, se recomienda ampliar la red de estaciones de monitoreo hidrometeorológica en toda la cuenca y la red pluviométrica en la cuenca baja, la cual actualmente limita analizar la gran variedad de microclimas que existen en la capital.

- Los umbrales hallados en el estudio han sido calculados tomando en cuenta el criterio de rareza, sin embargo se requerirá ampliar el estudio para analizar aquellos eventos que, si bien no son extremos, si pueden llegar a causar grandes daños en desmedro de la población y la ciudad, es decir, se requiere realizar un estudio de severidad y vulnerabilidad en la cuenca del río Rímac.

VI. Referencias

- Acuña J., Felipe O., Ordoñez J. & Arboleda F. (2011). Análisis regional de frecuencia de precipitación anual para la determinación de mapas de sequías.
- Anagnostopoulou C. & Tolika K. (2011). Extreme precipitation in Europe: statistical threshold selection based on climatological criteria.
- Arun K., Chen M. & Wang W. (2013). Understanding Prediction Skill of Seasonal Mean Precipitation over the tropics.
- Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., Ferro C.A.T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T. & Woth K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections.
- Chavarri V. E. (2009). Estudio Hidrológico de identificación de zonas de riesgo en los distritos de Lima Cercado y El Agustino, Lima Metropolitana, Provincia de Lima, Perú.
- Costa Dos Santos C.A. (2010). Trends in indices for extremes in daily air temperature over Utah, USA.
- Donat M.G., Alexander L.V., Yang H., Durre I., Vose R., Dunn R.J.H., Willett K.M., Aguilar E., Brunet M., Caesar J., Hewitson B., Jack C., Klein Tank A.M.G, Kruger A.C., Marengo J., Peterson T.C., Renom M., Oria Rojas C., Rusticucci M., Salinger J., Elrayah A.S., Sekele S.S., Srivastava A.K., Trewin B., Villaroel C., Vincent L.A., Zhai P., Zhang X. & Kitching S. (2012). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of twentieth century: The HadEX2 dataset.
- Espinoza J.C. (2005). El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos.
- Farhat A., Ahmad A., Safeeq M., Ali S., Saleem F., Hammad H.M. & Farhad W. (2013). Changes in precipitation extremes over arid to semiarid and subhumid Punjab, Pakistan.
- IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate change 2007. Working Group I: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, pp. 996.
- Klein Tank A.M.G. & Können G.P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99.
- Ralph F.M., Sukovich E., Reynolds D., Dettinger M., Weagle S., Clark W. & Neiman P.J. (2010). Assessment of Extreme Quantitative Precipitation Forecasts and Development of Regional Extreme Event Thresholds Using Data from HMT-2006 and CCOOP Observers.
- Sensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ekici M., Ulupinar Y., Atay H., Tüvan A. & Demirbaş H. (2013). Trends in Turkey Climate Indices from 1960 to 2010.
- Vauchell (2005). Hydraccess Tutorial. www.mpld.ird.fr/hybam/outils/hydraccess_sp.htm
- WCRP REPORT (2011). Climate Observations and Regional Modeling in Support of Climate

Risk Management and Sustainable Development.

-Yanluan L., Zhao M., Ming Y., Golaz J.C., Donner L.J., Klein S.A., Ramaswamy V. & Xie S. (2013). Precipitation Partitioning, Tropical Clouds, and Intraseasonal Variability in GFDL AM2.